

- DIALOG(R) File 347:JAPIO
(c) 2001 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

05950261 **Image available**

EXPOSURE AND EXPOSURE MASK

PUB. NO.: 10 -233361 [JP 10233361 A]

PUBLISHED: September 02, 1998 (19980902)

INVENTOR(s): SANHONGI AKIKO

FUJISAWA TADAHITO

SANHONGI SHOJI

TANAKA SATOSHI

INOUE SOICHI

APPLICANT(s): TOSHIBA CORP [000307] (A Japanese Company or Corporation), JP
(Japan)

APPL. NO.: 09-244023 [JP 97244023]

FILED: September 09, 1997 (19970909)

INTL CLASS: [6] H01L-021/027; G03F-001/08; G03F-007/20

JAPIO CLASS: 42.2 (ELECTRONICS -- Solid State Components); 29.1 (PRECISION
INSTRUMENTS -- Photography & Cinematography)

ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an exposure method which can suppress generation of residual resist caused by formation of a dark part due to a shifter edge part and can enlarge exposure margins such as luminous exposure tolerance and focal depth, without any need for a complicated mask structure or a multiple exposure process.

SOLUTION: In the exposure method, a projection aligner having an illumination optical system for illuminating a mask 12 and a projection optical system 17 for projecting a pattern of the mask 12 onto a wafer 20 to form its image thereon is used to illuminate the pattern of the mask 12 on the resist on the wafer 20. At this time, the illumination optical system includes a first illumination optical system 11 for bright-field illumination of $\sigma < 1$ and second illumination optical systems 13 and 14 for dark-field illumination of $\sigma > 1$. The mask 12 is a phase shift mask selectively formed with a phase shifter part which provides a phase difference of 180 degrees with respect to exposing light on a transparent substrate. The phase shifter part is formed at its edge portion with a light shield. Exposure based on the bright-field illumination and exposure based on the dark-field illumination are carried out at the same time.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-233361

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月2日

(51) Int.Cl.⁹

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 4 C

G 0 3 F 1/08

G 0 3 F 1/08

A

7/20

5 2 1

7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/30

5 1 5 F

5 2 8

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号

特願平9-244023

(22) 出願日

平成9年(1997) 9月9日

(31) 優先権主張番号

特願平8-335613

(32) 優先日

平8(1996)12月16日

(33) 優先権主張国

日本 (J P)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 三本木 晶子

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

(72) 発明者 藤澤 忠仁

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

(72) 発明者 三本木 省次

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

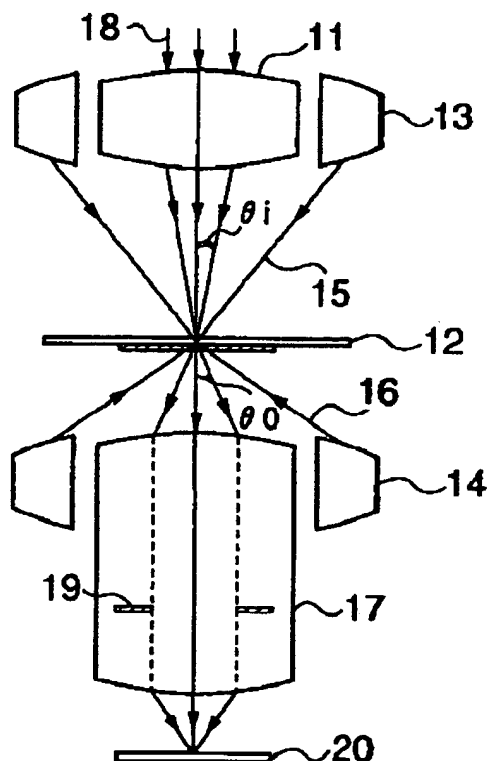
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光方法と露光用マスク

(57) 【要約】

【課題】 マスク構造の複雑化や多重露光プロセス等を必要とすることなく、シフトエッジ部による暗部の形成による残留レジストの発生を抑えることができ、且つ露光量裕度及び焦点深度等の露光マージンの拡大をはかる。

【解決手段】 マスク12を照明する照明光学系と、マスク12のパターンをウェハ20に結像投影する投影光学系17とを有する投影露光装置を用い、マスク12に形成されたパターンをウェハ20上のレジストに露光する露光方法において、照明光学系は、 $\sigma < 1$ の明視野照明を行う第1の照明光学系11及び $\sigma > 1$ の暗視野照明を行う第2の照明光学系13、14を備えており、マスク12は、透明な基板上に露光光に対して180度の位相差を与える位相シフト部が選択的に形成され、且つ位相シフト部のエッジ部分に遮光部が形成された位相シフトマスクであり、明視野照明による露光と暗視野照明による露光とを同時に行う。



【特許請求の範囲】

【請求項1】露光光に対して透明な基板上に、露光光に対して不透明な遮光部と露光光に対して所定の位相差を与える位相シフト部が選択的に形成された位相シフトマスクを用い、該マスクのパターンを明視野照明による露光と暗視野照明による露光との双方を用いて試料上に転写することを特徴とする露光方法。

【請求項2】露光光に対して透明な基板上に露光光に対して不透明な遮光部からなるパターンが形成され、且つ任意の遮光部パターンを挟んで隣接する光透過部に対し相互に180度の位相差を与える位相シフト部が形成された位相シフトマスクを用い、該マスクのパターンを試料上に露光するに際し、明視野照明による露光と暗視野照明による露光とを同時に又は順次行うことを特徴とする露光方法。

【請求項3】所定のパターンが設けられたマスクを照明する照明光学系と、前記パターンを試料上に結像投影する投影光学系とを有する投影露光装置を用い、マスクに形成されたパターンを試料上のレジストに露光する露光方法において、

前記照明光学系は明視野照明を行う第1照明光学系及び暗視野照明を行う第2照明光学系からなるか、又は前記照明光学系内に明視野照明及び暗視野照明の双方の照明を可能とする光学部材を備えており、

前記マスクは、露光光に対して透明な基板上に露光光に対して所定の位相差を与える位相シフト部が選択的に形成され、且つ該位相シフト部のエッジ部分、又はエッジ周辺部に選択的に遮光部が形成された位相シフトマスクであり、

前記明視野照明による露光と前記暗視野照明による露光とを同時に又は順次行うことを特徴とする露光方法。

【請求項4】前記明視野照明と暗視野照明の強度比が相互に制御可能な構造を有しており、前記遮光部の寸法に応じて、前記位相シフト部のエッジ部分の遮光部によるパターンの所望の光学イメージ又はレジストイメージに対しての影響を最小にし、且つ前記位相シフト部のエッジ部分のみで形成された領域に発生する残留レジストが除去されるように、前記強度比を制御することを特徴とする請求項3記載の露光方法。

【請求項5】前記明視野照明と暗視野照明の強度比は、 $(\text{暗視野部分の照明強度}) / (\text{明視野部分の照明強度})$ が3から5で設定されることを特徴とする請求項4記載の露光方法。

【請求項6】前記明視野照明と暗視野照明の各露光時間が相互に制御可能な構造を有しており、前記遮光部の寸法に応じて、前記位相シフト部のエッジ部分の遮光部によるパターンの所望の光学イメージ又はレジストイメージに対しての影響を最小にし、且つ位相シフト部のエッジ部分のみで形成された領域に発生する残留レジストが除去されるように、前記各照明における露光時間を制御

することを特徴とする請求項3記載の露光方法。

【請求項7】前記明視野照明による露光時間と前記暗視野照明による露光時間との比は、 $(\text{暗視野照明による露光時間}) / (\text{明視野照明による露光時間})$ が3から5で設定されることを特徴とする請求項6記載の露光方法。

【請求項8】所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明光学系と、前記パターンを試料上に結像投影する投影光学系とを有する投影露光装置を用い、マスクに形成されたパターンを試料上のレジストに露光する露光方法において、

前記照明光学系内に、前記マスクに対する入射光を前記マスクを通して前記試料上に入射する光と前記投影光学系の瞳の外部に出てしまう光とに分割する光分割機構を設け、明視野照明による露光と暗視野照明による露光を同時に行うことを特徴とする露光方法。

【請求項9】前記光分割機構として回折格子を用い、仮想光源面上の光軸から前記投影光学系によって決まる瞳の最外周を見込む角度よりも1次回折光が光軸と成す角度の方が大きくなるように、回折格子のピッチを設定することを特徴とする請求項8記載の露光方法。

【請求項10】前記光分割機構は入射光の一部を所定角度で屈折させる傾斜面を有するものであり、仮想光源面上の光軸から前記投影光学系によって決まる瞳の最外周を見込む角度よりも屈折光が光軸と成す角度の方が大きくなるように、傾斜面の傾斜角度が設定されることを特徴とする請求項8記載の露光方法。

【請求項11】前記光分割機構は、前記マスクの光入射側に接して、又は光入射側に所定距離離間して配置されることを特徴とする請求項8記載の露光方法。

【請求項12】前記光分割機構は、前記投影光学系の瞳の外部に出てしまう光の強度が前記マスクを通して前記基板上に入射する光の強度の1～3倍となるように設定されることを特徴とする請求項8記載の露光方法。

【請求項13】露光光に対して透明な透明基板と、この基板の表面側に設けられ、露光光に対して不透明な遮光部と露光光に対して所定の位相差を与える位相シフト部が選択的に形成されたマスクパターン部と、前記基板の裏面側に設けられ、入射光を直進光と所定角度回折又は屈折した光に分割し、前記マスクパターン部に対して明視野照明と暗視野照明を行うための光分割機構とを具備してなることを特徴とする露光用マスク。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体のリソグラフィ技術に係わり、特に位相シフトマスクを用いた露光方法と、この露光方法に用いる露光用マスクに関する。

【0002】

【従来の技術】マスク上の描画パターンをウェハ上に転写するパターン形成においては、転写すべきパターンの微細化が要求されている。この要求を満足するため、様

々な位相シフトマスクが提案されている。その代表的なものとしては、隣接する2つの光透過部に対し交互に180度の位相差を設けることで形成されるレベンソン型位相シフトマスクが良く知られている。

【0003】しかしながら、レベンソン型位相シフトマスクでは、主パターン周辺の透過部であるマスク（ブライツフィールドマスク）の場合、パターン終端部分のシフトエッジ部において暗部が形成されるため、不要なパターンが発生するという問題点があった。そのため、レベンソン型位相シフトマスクにより微細な残しパターン等を形成する場合には、不要なパターン（残留レジスト）の発生を防ぐための工夫が必要であった。

【0004】残留レジストに対する対処方法に関する従来例を以下に示す。シフトエッジ部で形成される残留レジストの発生を防ぐための従来技術の一つとして、マスク上の不要なシフトエッジ部のエッジ形状をなだらかに加工することで、その部分の位相シフト効果をなくし、暗部の形成を防ぐことが考案されている。しかし、この手法ではマスク製作プロセスにおける工程数の増加をもたらす、引いてはマスク製造コストの増大を引き起こしてしまう。

【0005】また、もう一つの手法として、形成された残留レジストをその後の露光で除去することが行われている。しかし、この手法では残留レジストを除去するために別マスクで露光する必要があり、露光工程数の増加や合わせ誤差が生じるという問題があった。

【0006】これらに対して最近、残留レジストを除去する方法として、主パターン部（遮光パターン部）に正バイアスを付加しておき、主パターンへの悪影響を最小にし、かつシフトエッジ部分による残留イメージを除去するように過露光する手法が提案されている（特開平8-64525号公報）。この手法を適用した結果を以下に示す。

【0007】図1(a)には、今回適用した露光用マスクの断面構造を示した。1は露光光に対して透明な石英等の基板、2はCr等の遮光部材、3はSiO₂等のシフト部材である。マスクの構造としては、図1(a)の他に、図1(b)に示したように基板1をエッチングすることでシフト部3'を形成してもよい。

【0008】シフト部3の厚さh、又は基板1のエッチング量h'は、シフト部とシフト部以外を通過する露光光との位相差が180度程度となるように設定されている。所望とする主パターンは遮光部2のパターン（d=0.15μmの孤立残しパターン）であり、シフトエッジ部4に本来は除去されるべき残留レジストが形成される。

【0009】図2(a)～(f)には、図1のマスクパターンを露光した際に得られるウェハ面上での像強度分布を示した。(a)はd=0.15μmの条件であり、同様に(b)は0.175μm、(c)は0.20μm

m、(d)は0.225μm、(e)は0.25μm、(f)は0.275μmである。なお、露光条件は露光波長248nm、開口数(NA)0.5、コヒーレンスファクタ(σ)0.3を用いた。この図から、パターン寸法dの大きさに拘わらず、主パターンと共に不要パターンのピークが現れていることが分かる。

【0010】図3(a)～(f)には、図1の遮光部2を所望寸法の±10%以内に仕上げるためのLog露光量とデフォーカスとの関係(ED-Tree)を示した。なお、図3(a)～(f)における寸法は図2(a)～(f)と同様である。図3中の点線は残留レジストが形成されるか否か境界を示しており、点線を境にして、高露光量側では残留レジストが除去されることを示している。なお、レジストにはポジ型の化学増幅型レジストを用いた。

【0011】図3(a)～(f)より、主パターンの寸法dが増加し、バイアスが増加するにつれて残留レジストが除去される方向に近づくものの、残留レジストが完全には除去できないことが分かる。但し、現像工程以降の微細パターンの倒れ等によってパターンが除去される可能性もあるが、この場合はレジストの残渣が発生しやすくなる等、不安定なプロセスとなりやすい。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】このように従来、レベンソン型位相シフトマスクにより微細な孤立残しパターン等を形成する場合、シフトエッジ部で形成される残留レジストの発生を防ぐため、マスク構造の複雑化や多重露光による除去を行わなければならないという問題があった。また、過露光により残留レジストを除去しようとすると、レジストの残渣が発生したり、不安定なプロセスとなりやすく露光マージンが小さくなるという問題があった。

【0013】本発明は、上記の事情を考慮して成されたもので、その目的とするところは、マスク構造の複雑化や多重露光プロセス等を必要とすることなく、シフトエッジ部による暗部の形成による残留レジストの発生を抑えることができ、且つ露光量裕度及び焦点深度等の露光マージンの拡大をはかり得る露光方法を提供することにある。また、本発明の他の目的は、上記の露光方法を簡易に実施することのできる露光用マスクを提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】

（構成）本発明の骨子は、レベンソン型位相シフトマスクを用いて、主パターンの周辺部が透過部であるマスク（ブライツフィールドマスク）を露光する場合に生じるシフトエッジ部での残留レジストの発生を防ぐ手法として、照明条件をコヒーレンスファクタσ<1の明視野照明とσ>1の暗視野照明の2つの部分からなる光源により露光することにある。そして、暗視野照明により、残

留レジストの発生を防ぐと同時に、主パターン部（遮光パターン部）に対する影響を抑えながら主パターンを所望の寸法に形成する。

【0015】即ち本発明は、前記課題を解決するために次のような構成を採用している。

(1) 露光光に対して透明な基板上に、露光光に対して不透明な遮光部と露光光に対して所定の位相差を与える位相シフト部が選択的に形成された位相シフトマスクを用い、該マスクのパターンを試料上に露光するに際し、明視野照明による露光と暗視野照明による露光との双方を行うことを特徴とする。

【0016】(2) 露光光に対して透明な基板上に露光光に対して不透明な遮光部からなるパターンが形成され、且つ任意の遮光部パターンを挟んで隣接する光透過部に対し相互に180度の位相差を与える位相シフト部が形成された位相シフトマスクを用い、該マスクのパターンを試料上に露光するに際し、明視野照明による露光と暗視野照明による露光とを同時に又は順次行うことを特徴とする。

【0017】(3) 所定のパターンが設けられたマスクを照明する照明光学系と、パターンを試料上に結像投影する投影光学系とを有する投影露光装置を用い、マスクに形成されたパターンを試料上のレジストに露光する露光方法において、照明光学系は明視野照明を行う第1照明光学系及び暗視野照明を行う第2照明光学系からなるか、又は照明光学系内に明視野照明及び暗視野照明の双方の照明を可能とする光学部材を備えており、マスクは、露光光に対して透明な基板上に露光光に対して所定の位相差を与える位相シフト部が選択的に形成され、且つ位相シフト部のエッジ部分、又はエッジ周辺部に選択的に遮光部が形成された位相シフトマスクであり、明視野照明による露光と暗視野照明による露光とを同時に又は時間的にずらして順次行うことを特徴とする。ここで、各露光を順次行う場合の順番はいずれが先でも構わない。

【0018】(4) (3) において、明視野照明と暗視野照明の強度比が相互に制御可能な構造を有しており、遮光部の寸法に応じて、位相シフト部のエッジ部分の遮光部によるパターンの所望の光学イメージ又はレジストイメージに対しての影響を最小にし、且つ位相シフト部のエッジ部分のみで形成された領域に発生する残留レジストが除去されるように、強度比を制御すること。

(5) (4) において、明視野照明と暗視野照明の強度比は、(暗視野部分の照明強度)/(明視野部分の照明強度)が3から5で設定されること。

【0019】(6) (3) において、明視野照明と暗視野照明の各露光時間が相互に制御可能な構造を有しており、遮光部の寸法に応じて、位相シフト部のエッジ部分の遮光部によるパターンの所望の光学イメージ又はレジストイメージに対しての影響を最小にし、且つ位相シフト部

のエッジ部分のみで形成された領域に発生する残留レジストが除去されるように、各照明における露光時間を制御すること。

(7) (6) において、明視野照明による露光時間と暗視野照明による露光時間との比は、(暗視野照明による露光時間)/(明視野照明による露光時間)が3から5で設定されること。

【0020】(8) 遮光部は、孤立残しのライン状パターンであること。

(9) レジストは、ポジ型の化学増幅型レジストであること。

(10) 投影露光装置で明視野照明及び暗視野照明を行うために、レベンソン露光に適した低 σ (<1)の部分と $\sigma >1$ からなる2次光源分布を形成する光源フィルタを装着すること。

(11) 投影露光装置で明視野照明及び暗視野照明を行うために、レベンソン露光に適した低 σ (<1)の部分と $\sigma >1$ からなる2次光源分布を形成するためのグレーティングマスク等の光学部材を装着すること。

【0021】(12) シフトエッジ部で形成される残留レジストが効率良く除去され、且つ露光マージン（焦点深度、露光量裕度）の向上をはかるため、主パターンに正バイアスを付加して露光を行うこと。

(13) 暗視野照明を行うために、輪帯形状の暗視野照明系を用いること。

【0022】また本発明は、照明光学系に大きな変更を加えることなく、明視野照明と暗視野照明を同時に行うために、次のような構成を採用している。

(a) 所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明光学系と、前記パターンを試料上に結像投影する投影光学系とを有する投影露光装置を用い、マスクに形成されたパターンを試料上のレジストに露光する露光方法において、前記照明光学系内（光源とパターンとの間）に、前記マスクに対する入射光を前記マスクを通して前記試料上に入射する光と前記投影光学系の瞳の外部に出てしまう光とに分割する光分割機構を設け、明視野照明による露光と暗視野照明による露光を同時に行うことを特徴とする。

【0023】(b) 前記(a) において、光分割機構として回折格子を用い、この回折格子のピッチを、仮想光源面（回折格子の設置面で2次光源となる面）上の光軸から投影光学系によって決まる瞳の最外周を見込む角度よりも、1次回折光が光軸と成す角度の方が大きくなるように設定すること。

【0024】(c) 前記(a) において、光分割機構として入射光の一部を所定角度で屈折させる傾斜面を有する屈折構造体を用い、この屈折構造体の傾斜面の角度を、仮想光源面（屈折板の設置面で2次光源となる面）上の光軸から前記投影光学系によって決まる瞳の最外周を見込む角度よりも、屈折光が光軸と成す角度の方が大きくな

るように設定すること。

【0025】(d) 前記(a)において、光分割機構は、マスクの露光光入射側に接して配置されること。

(e) 前記(a)において、光分割機構は、マスクの露光光入射側に所定距離離間して配置されること。

【0026】(f) 前記(b)において、回折格子における透過率及び位相差を、投影光学系の瞳の外部に出してしまう光の強度が、マスクを通して基板上に入射する光（パターンがない場合で透明部を通過する光）の強度の1～3倍となるように設定すること。

(g) 前記(b)において、明視野光強度に対する暗視野光強度の比が変化した時に所望するパターンを形成できる露光量の変化がないように、回折格子のピッチを設定すること。

【0027】(h) 前記(c)において、屈折構造体における全体に対する屈折する部分の表面積の割合を、投影光学系の瞳の外部に出してしまう光の強度が、マスクを通して基板上に入射する光（パターンがない場合で透明部を通過する光）の強度の1～3倍となるように設定すること。

(i) 前記(c)において、明視野光強度に対する暗視野光強度の比が変化した時に所望するパターンを形成できる露光量の変化がないように、屈折構造体の幾何学的形状を設定すること。

【0028】(j) 位相シフト法を利用したパターンの露光に用いる露光用マスクにおいて、露光光に対して透明な透明基板と、この基板の表面側に設けられ、露光光に対して不透明な遮光部と露光光に対して所定の位相差を与える位相シフト部が選択的に形成されたマスクパターン部と、前記基板の裏面側に設けられ、入射光を直進光と所定角度回折又は屈折した光に分割し、前記マスクパターン部に対して明視野照明と暗視野照明を行うための光分割機構とを具備してなることを特徴としている。

(作用) 位相シフトマスクを用いて明視野照明で露光すると、主パターンのエッジ部と共にシフトのエッジ部に相当する暗部が形成される。一方、これを暗視野照明で露光すると、パターンエッジ部分のみが明部になり、しかも主パターンのエッジ部分に比べ、シフトのみのエッジ部分はより明部が形成される。従って本発明のように、明視野照明及び暗視野照明の両方を施すと、シフトエッジ部の暗部が明部となり、残留レジストの発生が抑制される。

【0029】このように本発明によれば、シフトエッジ部による暗部の形成による残留レジストの発生を抑えることが可能となり、所望パターンを高い露光マージンで形成することができる。これにより、残留レジストを除去するための多重露光プロセスやマスク構造を複雑化する必要がなくなり、露光プロセスの簡略化及びマスク製造コストの低下が可能となる。

【0030】また、シフトのエッジ上の遮光部の寸法

(バイアス量)に応じて、パターンを所望の光学イメージ、又はレジストイメージに対しての影響を最小にし、且つシフトのエッジのみの部分で形成される残留レジストが除去されるように、明視野照明と暗視野照明光の強度比を制御する、又は明視野照明と暗視野照明の照明時間を制御することによって、所望パターンに対する露光マージンが更に大幅に向上できる。

【0031】具体的には、明視野照明強度と暗視野照明の強度比、又は明視野照明による露光時間と暗視野照明による露光時間の比を、照明強度に換算して（暗視野部分の照明強度）／（明視野部分の照明強度）が3～5に設定することにより、所望パターンに対する露光マージンを大幅に向上させることが可能となる。

【0032】また、先にも説明したように明視野照明光により位相シフトマスク（例えば、ボジ型レベンソンマスク）の通常露光を行い所望パターンを形成した後に、同一マスクを暗視野照明光により露光することによって、不要パターンの除去が可能となる。しかし、暗視野照明は露光装置の制限から直接行うことは難しい。

【0033】そこで本発明では、マスクと光源との間に、光源からの光を投影光学系の瞳に入射する成分（明視野照明光）と、瞳外に出ていく成分（暗視野照明光）に分割する光分割機構を配置する。この光分割機構としては、図18に示すような、透過率、位相を変化させた市松格子状のパターンを持つ2次元回折格子が考えられる。図中の81は透明部、82は透過率、位相差を制御するためのシフト部を示している。

【0034】回折格子のピッチを適切に設定することで、図19に示すように、1次回折光を暗視野からの4つ目照明光と見なすことができ、かつ0次回折光を明視野からの照明光と見なすことができる。図中の91は瞳半径、92は明視野照明光、93～96は暗視野照明光を示している。なお、両照明光の分割の割合は、回折格子の透過率、位相で調整可能である。

【0035】上記のような回折格子によって分割された回折格子からの0次光、1次光によってマスクを露光することで、明視野露光と暗視野露光が同時に行われるのと同等の効果が得られる。即ち、1枚のマスクに対して1回の露光で、残留レジストのない良好なパターン形成ができる。

【0036】2次元回折格子のピッチは、明視野照明光強度に対する暗視野照明光強度の比の変化に依存しないことを満たす条件のうち、最大の寸法を選択するのが望ましい。2次元回折格子のピッチの最適化において、回折格子の位相、透過率の制御は、図20に示すように、明視野光強度に対する暗視野光強度の比が1～3程度のとき容易である。即ち、残留レジストを除去して解像度を高めるには上記の強度比が高い方が良く、一般には1以上が望ましい。しかし、強度比が3より大きいと、位相や透過率の僅かな変動に対して強度比が大きく変動す

ることになる。この点から、明視野光強度に対する暗視野光強度の比は1～3の範囲が望ましいのである。

【0037】そして、強度比が1～3の場合、回折格子の透過率を100%とすると、強度比変動を0.25に抑制するための位相変動 $\Delta\Phi$ は2.45degまで許容できる。また、明視野光強度に対する暗視野光強度の比の変化への適性露光量依存性が小さいと、回折格子の位相、透過率が所望値から多少ずれた場合でも、パターン形成が可能となる。従って、これらの条件を満たす2次元回折格子のうち、ピッチの大きいものを選択すれば、製造も容易である。

【0038】

【発明の実施の形態】以下、本発明の詳細を図示の実施形態によって説明する。

(第1の実施形態)本発明を、0.2 μ mゲートパターンの形成に適用した実施形態を示す。本実施形態では、図4に示した暗視野照明による露光が可能な装置として、特開平6-132194号公報で提案されている投影露光装置を用いた。以下に、本露光装置の構成について説明する。

【0039】図示しない光源より出射された照明光18は、明視野照明系(第1の照明光学系)11に入射される。明視野照明系11は、複数の2次光源分布を有する視野絞り、フライアレイルレンズ、レチクル(マスク)12上の照明視野を制限する制限絞り、フライアレイルレンズの複数の2次光源からの光の各々をマスク12上で重畳するためのコンデンサレンズ等からなる。また、この露光装置には、暗視野照明系(第2の照明光学系)13、14が設けられている。暗視野照明系13は透過型であり、照明光15によりマスク12を照明する。暗視野照明系14は落射型照明系であり、照明光16によりマスク12を投影光学系17側から照明する。

【0040】ここで、明視野照明とは、マスク12上に回路パターンがない場合に照明光18が直進し、照明光が全て投影光学系17のNA内に取り込まれ(投影光学系17の瞳面19を通過し)、ウェハ(試料)20上に一様照明をもたらす照明系である。一方、暗視野照明とは、マスク12上に回路パターンがない場合には、直進する照明光15、16が投影光学系17のNAよりも大きな傾角を有していて、そのNA内には取り込まれず(瞳面19を通過せず)、直進する照明光がウェハ20上に到達しない照明系である。

【0041】暗視野照明の場合は、マスク12上に回路パターンを配した場合に、その回路パターンからの回折光の一部が投影光学系17を介してウェハ20上に像を形成する。明視野照明による露光がコヒーレンスファクタ σ が $0 < \sigma < 1$ であるのに対して、暗視野照明は $\sigma > 1$ である。

【0042】図5には、今回適用した0.2 μ mゲートパターンを示した。透明基板1の一主面に、微細ライン

状のゲート及びそのコンタクト部のパターンが遮光部材2で形成され、ゲートパターン部を中心に一方側に位相シフト部材3が形成されている。なお、4はシフトエッジ部を示している。

【0043】露光装置としては $\sigma < 1$ と共に $\sigma > 1$ の設定が可能な装置を使用し、露光条件は、露光波長が248nm、NA=0.5、 $\sigma=0.3$ の明視野照明と、 $\sigma=1.5$ 、遮蔽率=0.75の輪帯形状の暗視野照明で同時照明し、両者の照明強度比 $\{(\sigma=1.5, \text{遮蔽率}=0.75 \text{の輪帯照明強度}) / (\sigma=0.3 \text{の通常照明強度})\}$ を5に設定した。また、ウェハ20上に形成するレジストには、ボジ型の化学増幅型レジストを用いた。

【0044】図6(a)～(e)には、図5のA-B断面での像強度分布のうち、 $\sigma=0.3$ の明視野照明によるものを示した。ここで、(a)はジャストフォーカスの条件、(b)はデフォーカスが0.2 μ m、同様に(c)は0.4 μ m、(d)は0.6 μ m、(e)は0.8 μ mの条件である。

【0045】図7は、ゲートパターン部が所望の0.2 μ mで解像する露光量を中心とし、-20%～+20%まで(10%刻み)の露光量変動による寸法変動を示す等高線である。なお、図7では実際には5本の線があるが、像がシャープなため1本の線に見えている。図6及び図7より、通常の $\sigma < 1$ のみの露光ではシフトエッジ部4による暗部が形成され、不要なレジストパターンが形成される。

【0046】そこで本発明者らは、暗視野照明法がパターンのエッジ部分を強調し、明部を形成することに着目し、暗視野照明を用いた露光を $\sigma < 1$ の通常露光に付加することにより、シフトエッジ部4で形成される残留レジストを除去することを考案した。暗視野照明では、急峻なパターンエッジ部には影響を与えるものの、比較的空間周波数の低い成分で形成されている主パターンに対する露光マージン(露光量裕度と焦点深度)の劣化は抑えることが可能である。

【0047】図8(a)～(e)には、図5のA-B断面での像強度分布のうち、 $\sigma=1.5$ 、遮蔽率=0.75の輪帯形状の暗視野照明によるものを示した。なお、図8(a)～(e)におけるデフォーカス条件は図6(a)～(e)と同様である。この図から、主パターン部分に比べ、シフトエッジ部4でより明部が強調されていることが分かる。しかしながら、デフォーカスによりシフトエッジ部4の明度が低下してくることから、必要とされる焦点深度及び露光量裕度に応じて、前記照明強度比又は露光量比を調整する必要がある。

【0048】図9(a)～(e)に、本実施形態を適用して露光した場合に、図5のA-B断面で得られる像強度分布を示した。なお、図9(a)～(e)におけるデフォーカス条件は図6及び図8の(a)～(e)と同様

である。この図から、本実施形態のように明視野照明と暗視野照明の双方で露光することにより、シフトエッジ部4による暗部が明部となり、残留レジストに発生が抑えられていることが分かる。しかしながら、上記でも指摘したように、デフォーカスが増加するにつれて暗視野露光の効果が減少し暗部が形成される傾向があることも分かる。

【0049】図10は、本実施形態による照明条件を適用した場合の、ゲートパターン部が所望の $0.2\mu\text{m}$ で解像する露光量を中心として、 $-20\%\sim+20\%$ まで(19%刻み)の露光量変動による寸法変動を示す等高線である。なお、図10の場合も実際には5本の線があるが、像がシャープなため1本の線に見えている。このように本実施形態によれば、シフトエッジ部4の残留レジストを除去することができ、所望の $0.2\mu\text{m}$ ゲートパターンを高露光量裕度をもって形成することが可能となる。

【0050】なお、本実施形態の露光条件では輪帯形状の暗視野照明を用いたが、輪帯形状に限定される必要はなく、 $\sigma>1$ の暗視野照明を含むものであれば、同様の効果を得ることが可能である。

(第2の実施形態)本実施形態では、主パターンのバイアス量を付加すると共に、それに応じて $\sigma<1$ 以下の通常照明と $\sigma>1$ の暗視野照明との強度比を調整することにより、残留レジストの除去効果を向上させ、露光マージンの大幅な向上効果が発揮されることを示す。

【0051】本実施形態で適用したマスクの断面構造は前記図1に示す通りであり、遮光部2において、ウェハ面上で所望となるパターン寸法は $0.15\mu\text{m}$ である。露光は、第1の実施形態と同様、露光装置として $\sigma<1$ と共に $\sigma>1$ の設定が可能な装置を用い、露光条件は第1の実施形態と同様、露光波長が 243nm 、 $\text{NA}=0.5$ 、 $\sigma=0.3$ の明視野照明と、 $\sigma=1.5$ 、遮蔽率 $=0.75$ の輪帯形状の暗視野照明で照明した。なお、レジストにはポジ型の化学増幅型レジストを用いた。

【0052】所望パターンである $0.15\mu\text{m}$ 孤立残しパターン部の露光マージン向上のため、主パターンに対して正バイアスを付加すると共に、それに応じて、上記2つの照明強度比 $\{(\sigma=1.5, \text{遮蔽率}=0.75 \text{の輪帯照明強度})/(\sigma=0.3 \text{の通常照明強度})\}$ を最適化した。

【0053】図11には、照明強度比及び主パターン寸法の差異により形成されるレジスト寸法への影響をED-Treeにより示した。なお、図11の実線は主パターンが所望寸法の $\pm 10\%$ 以内に仕上がるための露光量とデフォーカスの関係を、また点線は残留レジストが形成されるか否かの境界を示しており、点線を境にして、高露光量側では残留レジストが除去できることを示している。

【0054】なお、上記レジストプロセスによるレジスト線幅は、文献(S.Mimotogi and Inoue, "Enhanced Greeneich Model for Faser and Accurate Development Simulation", Digest of Papers Microlithography'95, 35, 1995)に示されている手法から求めた。

【0055】図12には、図11より得られた露光マージン(焦点深度と露光量裕度)の照明強度比及びバイアス依存性を示した。図11及び図12から分かるように、主パターン寸法によるED-Treeの形状から、正バイアスが付加され、主パターン寸法が増加するにつれて、露光量裕度の増加と共に、ED-Treeの傾きも急峻となり焦点深度も大幅に向上された。これは、主パターン部に正バイアスが印加されることで、主パターン部の暗部が強調され、シフトエッジ部の明部とのコントラストがより得られるためである。

【0056】主パターンに対するバイアス量の設定は、パターン配置上の制約、必要とされる露光マージン、また図11では考慮されていないが、適性露光量の増加に伴うレジストの残膜等の影響を考慮して決定すればよい。照明強度比については、強度比が増加するほど、主パターン部とシフトエッジ部との明暗のコントラストが強調され残留レジストの発生が抑えられる。しかしながら、照明強度比の過度の増加は、シフトエッジ部ほどではないものの、主パターンのエッジに対しても暗視野照明によって明部が形成されるため、露光マージンの低下を引き起こす。

【0057】以上の2つの観点を踏まえ、図12から、主パターン寸法(バイアス量)に応じて、好適な露光量マージンを得るための照明強度比を設定すればよい。最適な照明強度比は、主パターン寸法が増加(正バイアスが増加)するにつれて、小さくなる傾向がある。

【0058】図13(a)(b)には、比較のために、透過率6%のハーフトーンマスク及び通常の遮光マスクを用いた場合の露光マージンを示した。なお、図13における光学条件は、通常の輪帯照明を適用し、露光波長が 248nm 、 $\text{NA}=0.5$ 、 $\sigma=0.75$ 、遮蔽率 $=0.67$ を用いた。図12と図13の比較により、主パターン寸法 $0.15\mu\text{m}\sim 0.275\mu\text{m}$ の全ての範囲において、ハーフトーンによる露光並びに遮光マスクによる露光マージンより大となる範囲を選択すると、照明強度比は3~5に設定すればよい。但し、主パターンに対するバイアス量によっては、照明強度比を更に下げることが可能である。

【0059】このように本実施形態によれば、パターン配置、レジストの残膜の影響、また必要となる露光マージン等を考慮した範囲で、主パターンに対してバイアスを付加し、該バイアス量に応じて照明強度比を設定することによって、シフトエッジ部における残留レジストの発生を抑え、主パターンに対する露光マージンを大幅に向上させることが可能となった。

【0060】(第3の実施形態)図14は、本発明の第3の実施形態に使用した露光用マスクの断面構造を示す図である。

【0061】第1及び第2の実施形態では、明視野照明系と暗視野照明系の両方を備えた露光装置を使用した。マスク自体に明視野照明及び暗視野照明による露光ができる機能を持たせてもよい。具体的には、図14に示すように、透明基板31のパターン形成面(Cr遮光部32及びシフト部33等が形成されている)と反対側(光入射側)に回折格子36を設けたグレーティングマスク(光分割機構)を用いれば、通常照明系のみの露光装置を使用することが可能である。回折格子36はSiO₂等のシフト部材で形成されているが、基板31のパターン形成面と反対側をエッチングすることで回折格子を形成してもよい。また、グレーティングマスクは露光用のマスクに接触して形成するのではなく、露光用マスクとは別に単独に設け、露光用マスクの光源側に配置するようにしてもよい。

【0062】より具体的には、露光光に対して透明な石英等からなる基板(露光用マスクを構成する透明基板とは別の透明基板)上の全面に透過率及び位相を制御するためのSiO₂等からなるシフト膜を形成し、このシフト膜をドライエッチング等により、前記図18に示すような市松格子状パターンにパターンニングして光分割機構を形成する。そして、この光分割機構を露光用マスクの裏面に張り付けるようにすればよい。このとき、必ずしもシフト膜を形成する必要はなく、前記基板をエッチングすることで回折格子を形成してもよい。また、必ずしも光分割機構を露光用マスクの裏面に張り付ける必要はなく、露光用マスクの裏面側に所定の距離離して設置、即ち露光用マスクと光源との間に設置するようにしてもよい。

【0063】マスクの転写すべきパターンが形成されている面の裏面に、例えばピッチ2 μ m程度の市松模様状のパターンを形成し、ステージに載せ、NA=0.5、 σ =0.3の通常照明光で照射すると、前記図10に示すような所望パターンが得られた。裏面パターン(グレーティング)の寸法を適切に制御した効果で、0次、1次の各回折光はそれぞれ明視野、暗視野からの照明光のように実際に転写すべきパターンを照射する。これにより、一度の露光でポジ型レベソソマスクのパターン転写と共に、不要パターンの除去ができた。

【0064】このように本実施形態によれば、露光用のマスクの裏面に回折格子からなる光分割機構を設けることにより、第1、第2の実施形態と同様に、明視野照明による露光と暗視野照明による露光を同時に行うことができ、第1、第2の実施形態と同様の効果が得られる。そしてこの場合、現行の露光装置に特に改良を加える必要はなく、露光用マスクを改良するのみで簡易に実施することができる。

【0065】(第4の実施形態)図15は本発明の第4の実施形態に使用した露光用マスクの概略構成を説明するためのもので、(a)は平面図、(b)は断面図である。本実施形態は、第3の実施形態における市松格子状の回折格子の代わりに、コンタクトホール状の回折格子を用いたものである。

【0066】図15に示すように、透明基板41のパターン形成面(Cr遮光部42及びシフト部43等が形成されている)と反対側(露光光45の入射側)に、行方向及び列方向に一定距離離間して複数のコンタクトホール状のパターン47が配列形成されている。これにより、光分割機構となる回折格子が構成されている。なお、この場合も第3の実施形態と同様に光分割機構は、露光用のマスク自体に形成するのではなく、露光用マスクとは別に単独に設け、露光用マスクの光源側に配置するようにしてもよい。

【0067】マスクの転写すべきパターンが形成されている面の裏面に、例えば2 μ mのコンタクトホール状のパターンを形成し、ステージに載せ、NA=0.5、 σ =0.3の通常照明光で照射すると、前記図10に示すような所望パターンが得られた。裏面パターンの寸法を適切に制御した効果で、回折光はあたかも暗視野からの照明光のように実際の転写すべきパターンを照射する。これにより、第3の実施形態と同様に、一度の露光でポジ型レベソソマスクのパターン転写と共に、不要パターンの除去ができた。

【0068】(第5の実施形態)図16は本発明の第5の実施形態に使用した露光用マスクの概略構成を説明するためのもので、(a)は平面図、(b)及び(c)は断面図である。本実施形態は、第4の実施形態におけるコンタクトホール状の回折格子の代わりに、入射光の一部を屈折させるための屈折構造体を設けたものである。

【0069】図16に示すように、透明基板51のパターン形成面(Cr遮光部52及びシフト部53等が形成されている)と反対側(露光光55の入射側)に、行方向及び列方向に一定距離離間して複数の四角錐57が設けられている。ここで、四角錐57は、図16(b)に示すように基板表面に突出形成した凸型四角錐57aでもよいし、図16(c)に示すように基板表面に掘り込み形成した凹型四角錐57bでもよい。これにより、光分割機構となる屈折構造体が構成されている。

【0070】なお、この場合も第3の実施形態と同様に光分割機構は、露光用のマスク自体に形成するのではなく、露光用マスクとは別に単独に設け、露光用マスクの光源側に配置するようにしてもよい。

【0071】マスクの転写すべきパターンが形成されている面の裏面に、例えば2 μ m程度の四角錐を4 μ m程度の間隔で照明側に凸状に形成、又は照明側に凹状に形成し、ステージに載せ、NA=0.5、 σ =0.3の通常照明光で照射すると、前記図10に示すような所望パ

ターンが得られた。裏面パターンの寸法を適切に制御した効果で、回折光はあたかも暗視野からの照明光のように実際の転写すべきパターンを照射する。これにより、一度の露光でポジ型レベソソマスクのパターン転写と共に、不要パターンの除去ができた。

【0072】(第6の実施形態)図17は本発明の第6の実施形態に使用した露光用マスクの概略構成を説明するためのもので、(a)は平面図、(b)及び(c)は断面図である。本実施形態は、第5の実施形態における四角錐の一部を平坦に切り取ったものである。

【0073】図17に示すように、透明基板61のパターン形成面(Cr遮光部62及びシフト部63等が形成されている)と反対側(露光光65の入射側)に、行方向及び列方向に一定距離離間して複数の四角錐67が設けられ、さらに四角錐67の先端側は平坦に切り取られている。ここで、四角錐67は、図17(b)に示すように基板表面に突出形成した凸型四角錐67aでもよいし、図17(c)に示すように基板表面に掘り込み形成した凹型四角錐67bでもよい。これにより、光分割機構となる屈折構造体が構成されている。

【0074】なお、この場合も第3の実施形態と同様に光分割機構は、露光用のマスク自体に形成するのではなく、露光用マスクとは別に単独に設け、露光用マスクの光源側に配置するようにしてもよい。

【0075】マスクの転写すべきパターンが形成されている面の裏面に、例えば $2\mu\text{m}$ 程度の四角錐の上部から四角錐を切り取った構造を照明側に凸状に形成、又は照明側に凹状に形成し、ステージに載せ、 $\text{NA}=0.5$ 、 $\sigma=0.3$ の通常照明光で照射すると、前記図10に示すような所望パターンが得られた。裏面パターンを適切に制御した効果で、屈折光はあたかも暗視野からの照明光のように実際の転写すべきパターンを照射する。これにより、一度の露光でポジ型レベソソマスクのパターン転写と共に、不要パターンの除去ができた。

【0076】また、光軸からマスク裏面に設けた構造を見る時、暗視野照明と見なせる屈折光を生じせしめる四角錐の4つの側面の面積は均等であり、またこれら側面の合計面積と、屈折光の生じない四角錐上部から四角錐を切り取った面及び四角錐の間の光軸に垂直な面の合計面積との比がおおよそ1:4となるように設定してあれば、本実施形態にて示した寸法の構造に限定されない。

【0077】なお、本発明は上述した各実施形態に限定されるものではない。実施形態では明視野照明による露光と暗視野照明による露光を同時に行ったが、これらを独立して行っても何等问题はない。このとき、明視野照明による露光と暗視野照明による露光の順番はいずれが先でもよく、更にこれらを交互に繰り返すようにしてもよい。また、本発明は孤立残しパターンで最も大きな効果が得られるが、その他の位相シフト部材のエッジ部分が遮光部材と接していない領域を有するマスクに対して

も適用することができる。

【0078】また、マスクと回折格子、屈折構造の方向は所望パターンがより良く解像できるように0度、45度程度で重なるようにすればよく、さらに寸法、照明条件等は実施形態で示したものに限らず、十分な効果が得られる条件を満たせばよい。また、実施形態では露光用マスクに光分割機構を張り付けるようにしたが、露光用マスクを構成する透明基板自体に、光分割機構を成す回折格子や四角錐等を直接形成することも可能である。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0079】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、位相シフトマスクのパターンを明視野照明による露光と暗視野照明による露光との双方を用いて試料上に転写することにより、マスク構造の複雑化や多重露光プロセス等を必要とすることなく、シフトエッジ部による暗部の形成による残留レジストの発生を抑えることができ、且つ露光量裕度及び焦点深度等の露光マージンの拡大をはかることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】位相シフトを設けた露光用マスクの構造例を示す断面図。

【図2】図1のマスクを露光した際に得られるウェハ面上での像強度分布を示す図。

【図3】図1の遮光部を所望寸法に仕上げるためのLog露光量とデフォーカスとの関係(ED-Tree)を示す図。

【図4】本発明の実施形態に使用した投影露光装置の構成例を示す図。

【図5】第1の実施形態で適用した $0.2\mu\text{m}$ ゲートパターンの例を示す図。

【図6】図5のA-B断面での像強度分布のうち、明視野照明によるものを示す図。

【図7】図6において、ゲートパターン部分が所望寸法で解像する露光量を中心に露光量を変動させた場合の寸法変動を等高線で示す図。

【図8】図5のA-B断面での像強度分布のうち、暗視野照明によるものを示す図。

【図9】明視野照明及び暗視野照明の双方を施した場合に、図5のA-B断面で得られる像強度分布を示す図。

【図10】図9において、ゲートパターン部分が所望寸法で解像する露光量を中心に露光量を変動させた場合の寸法変動を等高線で示す図。

【図11】第2の実施形態において、照明強度比及び主パターン寸法の差異により形成されるレジスト寸法への影響をED-Treeにより示す図。

【図12】図11より得られた露光マージン(焦点深度と露光量裕度)の照明強度比及びバイアス依存性を示す図。

【図13】透過率6%のハーフトーンマスク及び通常遮光マスクを用いた場合の露光マージンを示す図。

【図14】第3の実施形態に使用した露光用マスクの断面構造を示す図。

【図15】第4の実施形態に使用した露光用マスクの平面構造と断面構造を示す図。

【図16】第5の実施形態に使用した露光用マスクの平面構造と断面構造を示す図。

【図17】第6の実施形態に使用した露光用マスクの平面構造と断面構造を示す図。

【図18】本発明の作用を説明するためのもので、マスクの裏面に形成した2次元回折格子パターンを示す図。

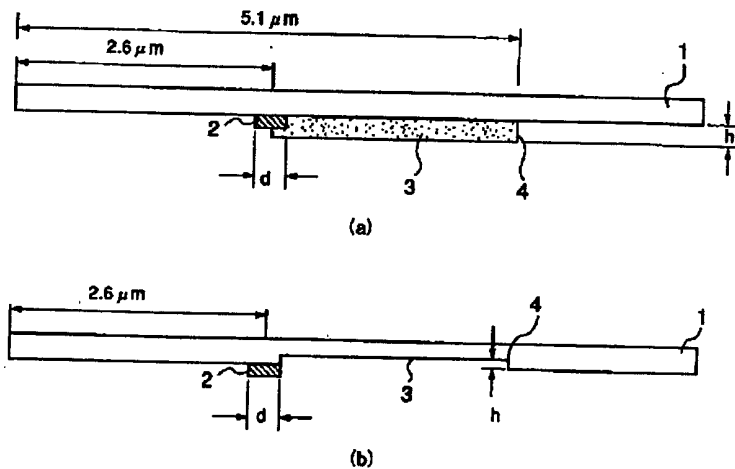
【図19】図18の回折格子パターンを用いた場合の回折光分布を示す図。

【図20】明視野照明光による強度に対する暗視野照明光の強度の比を、回折格子の透過率、位相差により等高線表示した図。

【符号の説明】

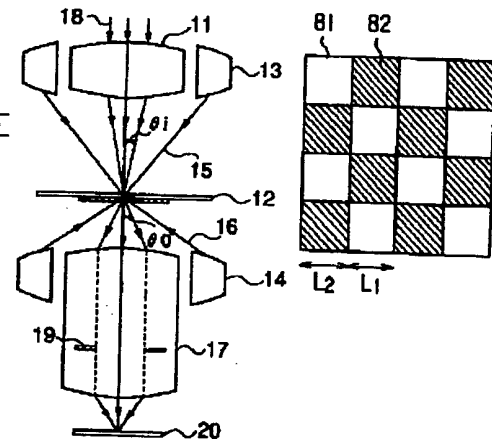
- 1, 31, 41, 52, 61…透明基板
- 2, 32, 42, 52, 62…遮光部
- 3, 33, 43, 53, 63…位相シフト部
- 4…シフトエッジ部
- 6…回折格子
- 11…明視野照明系（第1の照明光学系）
- 12…レチクル（マスク）
- 13, 14…暗視野照明系（第2の照明光学系）
- 15, 16, 18…照明光
- 17…投影光学系
- 19…瞳面
- 20…ウェハ
- 36…回折格子
- 45, 55, 65…露光光
- 47…コンタクトホール状のパターン（回折格子）
- 57, 67…四角錐

【図1】

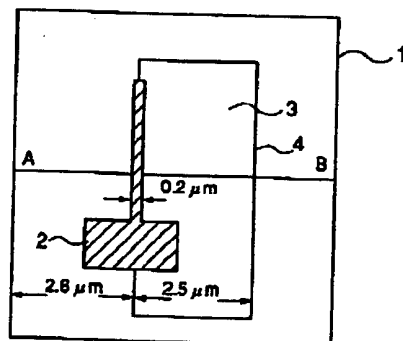


【図4】

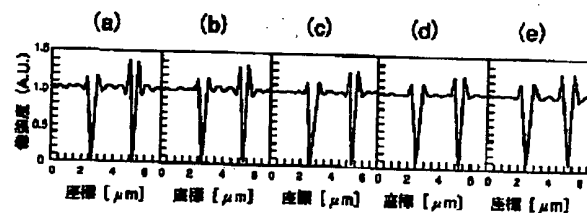
【図18】



【図5】

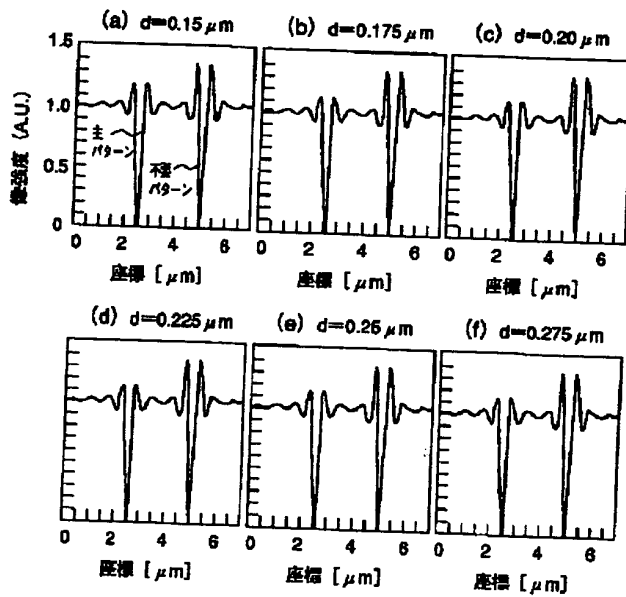


【図6】

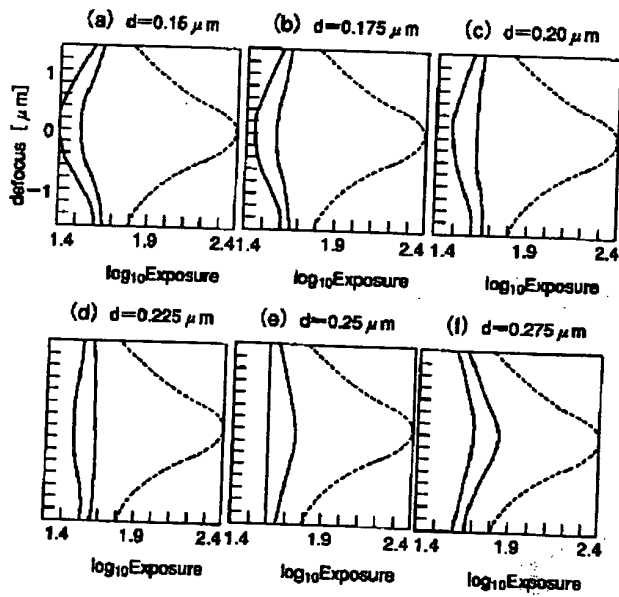


- (a) defocus 0 μm
- (b) defocus 0.2 μm
- (c) defocus 0.4 μm
- (d) defocus 0.6 μm
- (e) defocus 0.8 μm

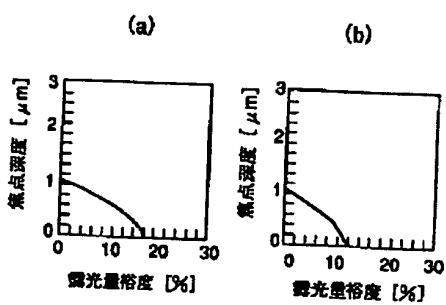
【図2】



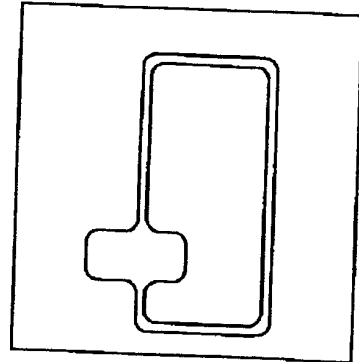
【図3】



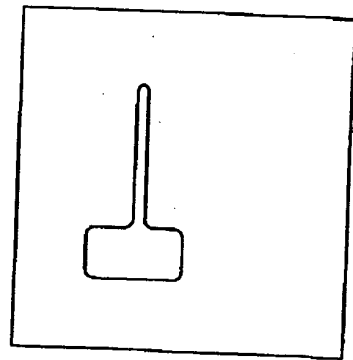
【図13】



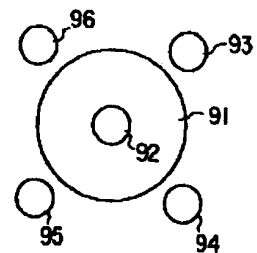
【図7】



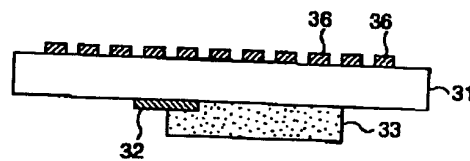
【図10】



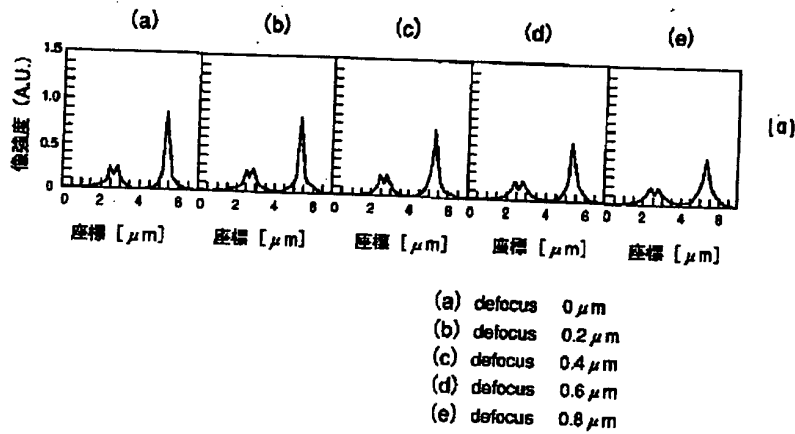
【図19】



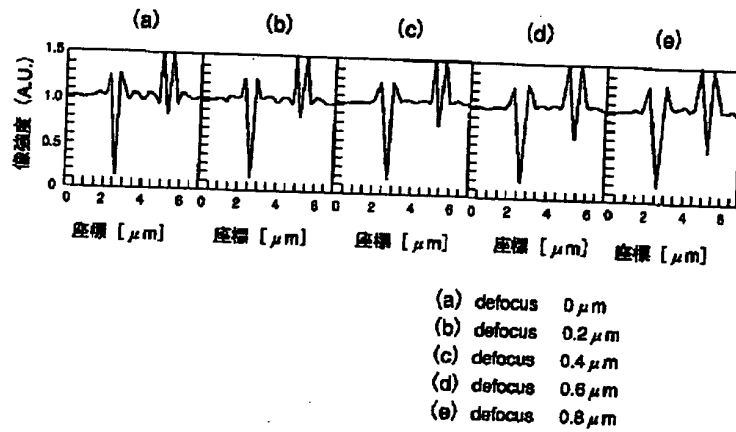
【図14】



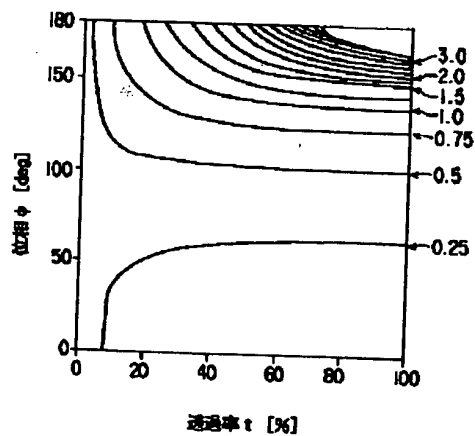
【図8】



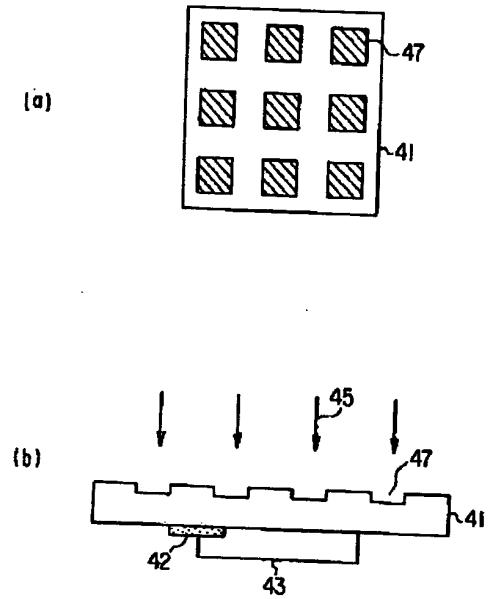
【図9】



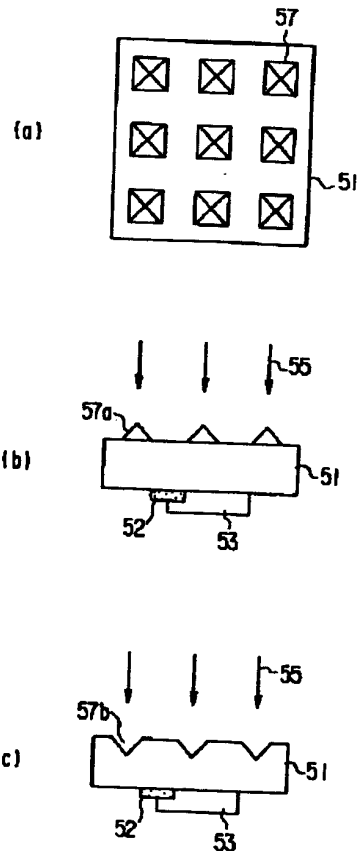
【図20】



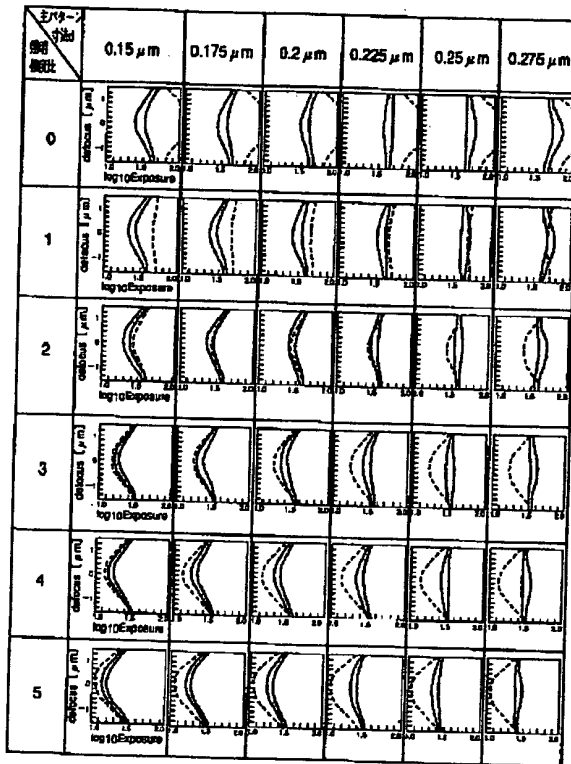
【図15】



【図16】

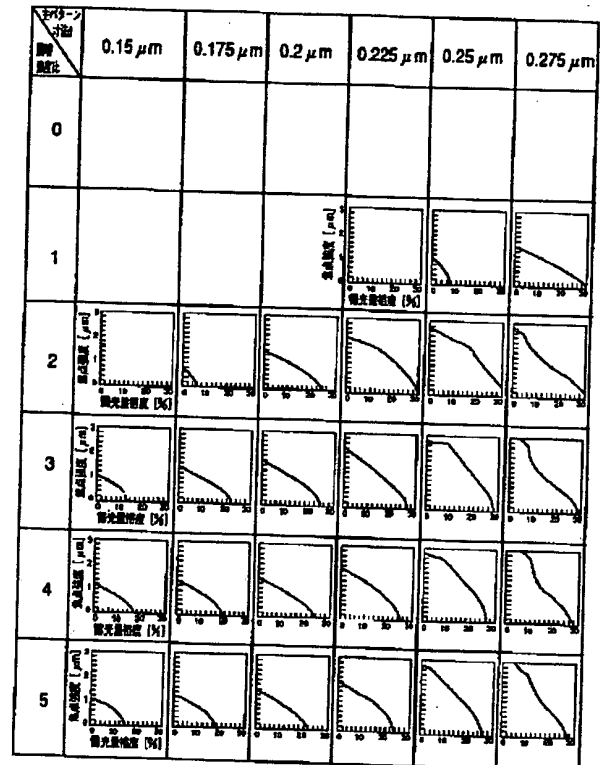


【図11】



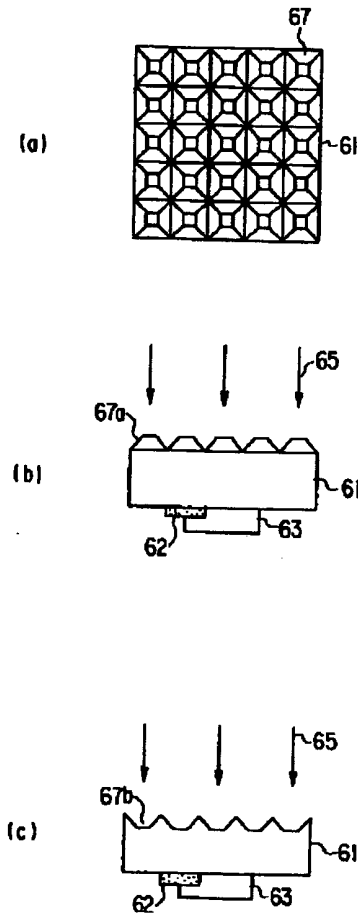
照明強度比 = (σ 1.5、透射率0.75の輪帯照明強度) / (σ 0.3の通常照明強度)

【図12】



照明強度比 = (σ 1.5、透射率0.75の輪帯照明強度) / (σ 0.3の通常照明強度)

【図17】



フロントページの続き

(72)発明者 田中 聡

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株
 式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 井上 壮一

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株
 式会社東芝横浜事業所内